

**PRARANCANGAN PABRIK ETIL AKRILAT DARI ASAM
AKRILAT DAN ETANOL DENGAN KAPASITAS 35.000
TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor (RE - 201))**

(Skripsi)

Oleh

**AMALIA INSANI
1615041029**



**JURUSAN TEKNIK KIMA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

PREDESIGN ETHYL ACRYLATE FROM ACRYLIC ACID AND ETHANOL WITH CAPACITIES 35.000 TONS/YEAR

(*Reactor Design (RE-201)*)

By

AMALIA INSANI

Ethyl Acrylate is a compound used to produce coatings and adhesives. For example, latex paint formulations will produce water-repellent paints that are resistant to damage from rain, wind, and heat. Ethyl acrylate can be produced in several ways, including : 1.) propylene oxidation and 2.) esterification. Provision of factory utility needs in the form of water treatment and supply systems, steam supply systems, cooling towers, air supply and instrumentation.

Production capacity of ethyl acrylate factory is 35.000 tons/year with 330 work day for year. The factory will be located in Cilegon, Banten.

From economy analysis obtained :

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 411.306.358.839
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 72.583.475.089
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 483.889.833.928
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 42,18%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 16,92%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 2,31 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 3,13 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 43,5%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 28,71%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 35,71%

Based on the summary above, it is appropriate to study the establishment of a ethyl acrylate factory further, because it is a profitable plant and has a good future.

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK ETIL AKRILAT DARI ASAM AKRILAT DAN ETANOL DENGAN KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN

(Perancangan Reaktor (RE-201))

Oleh

AMALIA INSANI

Etil Akrilat merupakan senyawa yang digunakan untuk memproduksi *coating* dan *adhesive*. Sebagai contoh dalam formulasi cat latex akan menghasilkan cat anti air serta tahan terhadap kerusakan akibat hujan, angin dan panas. Etil akrilat dapat diproduksi dengan beberapa cara antara lain: 1.) oksidasi propilena dan 2.) esterifikasi. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa system pengolahan dan penyediaan air, system penyediaan *steam*, *cooling tower*, penyedia udara dan instrumentasi.

Kapasitas produksi pabrik etil akrilat direncanakan sebesar 35.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di Cilegon, Banten.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 411.306.358.839
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 72.583.475.089
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 483.889.833.928
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 42,18%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 16,92%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 2,31 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 3,13 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 43,5%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 28,71%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 35,71%

Berdasarkan beberapa paparan di atas, maka pendirian pabrik etil akrilat ini layak untuk dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dari sisi ekonomi dan mempunyai prospek yang relatif baik.

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK ETIL AKRILAT DARI
ASAM AKRILAT DAN ETANOL DENGAN
KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor (RE-201))**

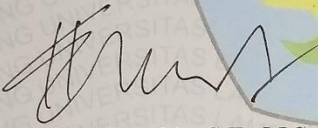
Nama Mahasiswa : Amalia Insani


No. Pokok Mahasiswa : 1615041029

Jurusan : Teknik Kimia


Fakultas : Teknik




Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.
NIP. 196902081997032001


Lia Lismeri, S.T., M.T.
NIP. 198503122008122004

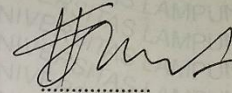
Ketua Jurusan Teknik Kimia


Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

MENGESAHKAN

Tim Penguji

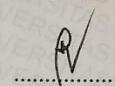
Ketua : Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.



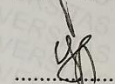
Sekretaris : Lia Lismeri, S.T., M.T.



Penguji
Bukan Pembimbing : Panca Nugrahini F, S.T., M.T



Yuli Darni, S.T., M.T.



Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Juni 2023

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Juni 2023



Amalia Insani

NPM. 1615041029

RIWAYAT HIDUP



Amalia Insani, penulis laporan ini dilahirkan di Tanjungkarang pada tanggal 26 Juli 1998, putri bungsu dari pasangan Bapak SA. Erwan Safrie dan Ibu Lainiah.

Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN 1 Sawah Lama Bandarlampung pada tahun 2010, pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 5 Bandarlampung pada tahun 2013 dan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 5 Bandarlampung pada tahun 2016.

Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staf Departemen Media Informasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2017, Bendahara Himatemia FT Unila Periode 2018, dan Staf Ahli Dinas Komunikasi dan Informasi BEM FT Unila Periode 2019.

Pada tahun 2019, penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di PT Pupuk Sriwidjadja Palembang dengan Tugas Khusus “Analisis Kinerja *Ammonia Condenser* (EA-404 A-D) pada Unit Urea P-IV PT. Pupuk Sriwidjaja” dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sribandung, Kecamatan Abung Tengah, Kabupaten Lampung Utara di tahun 2020. Pada tahun 2022, penulis melakukan penelitian dengan judul “Ekstraksi Zat Tanin dari Kulit Batang Bakau Minyak (*Rhizophora apiculata*) dengan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE) dan Maserasi dengan Variasi Daya *Microwave*, Waktu Ekstraksi, dan Jenis Pelarut” di Laboratorium Fisika Teknik Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.

Motto dan Persembahan

*“Just Focus on Something You Can Control and Let God do
The Rest, Chill!”*

-Amalia Insani-

*“If Something is Destined for You, Never in Million Years Will
it be for Somebody Else”*

-Anonim-

“What Doesn’t Kill You, Makes You Stronger”

-Friedrich Nietzsche-

Sebuah KaryaKu....

Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:

Ama dan Aba,

terima kasih atas doa, kasih sayang, pengorbanan, kesabaran dan keikhlasannya. Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan apapun yang telah kalian berikan selama ini.

Terima kasih atas segalanya.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik Etil Akrilat dari Asam Akrilat dan Etanol dengan Kapasitas 35.000 Ton/Tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang karenanya penulis bisa bertahan dan percaya bahwa penulis sanggup menyelesaikan masa studi ini hingga akhir.
2. Ama dan Aba, kakak-kakak, serta seluruh keluarga besar atas doa, dukungan, kepercayaan, ketulusan dan semangat yang telah diberikan serta cinta dan kasih sayang yang selalu mengiringi setiap saat.
3. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung, terima kasih telah terus mendorong dan memberikan kemudahan untuk menyelesaikan studi di Teknik Kimia Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Ibu Panca Nugrahini F., S.T., M.T. selaku Dosen Peguji I yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir.
7. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Dosen Peguji II yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir.
8. Bapak Donny Lesmana, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan dan motivasi selama masa kuliah.

9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
10. Mba Ning, Mba Nani, Mas Adi, dan seluruh Civitas Akademika Universitas Lampung atas bantuannya selama penulis menjalani masa studi di Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
11. Anniza Hasna Purnama, S.T., selaku partner Tugas Akhir yang telah sabar dan banyak membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini. Terimakasih atas kerjasamanya nija cantikk.
12. Jeri Parsad Akrami, S.T., yang telah memberikan semangat, dukungan, hiburan, dan saran dalam pengerjaan tugas akhir ini. *Thank u, freaky!*
13. Nida Nabila Riadi, S.T. (*Nidski*), Fransiska Salsalina Bangun, S.T. (*Ciska*), Ayu Sakinah, S.T. (*Yuski*), Mettyana Ordevo Demayanti, S.T. (*Metti*), dan Ruruh Pragita Hapsari (*Mba Ruroh*), selaku teman-teman seperjuangan, teman masak seblak, sambat dan pulang malam. Semoga kita bisa sukses bareng ya hesss!
14. Teman-teman ChemEng '16 , Rama, Ucok, Nada, Wika, Eka, Selvy, Isya, Restu, Alfian, Fitro, Tantri, Shintia, Nopal, Adel, Mey, Nando, April, Feby, Ulfa, Julpani, Destri, Yesi, Neo, Adhit, Pradit, Sasa, Evy, Memed, Akbar, Fifi, Ryan, Heru, Cece, Fardo, Kak Lulu, Jona, Widi, Kris, Bagas, Fernando, Putri, Ali, Yuni, Sigit, Tiara, Veni, Valda, Petra dan Agoy. Terimakasih atas kerjasama, hiburan, dan kebersamaan-nya selama ini.
15. Adik-adik dan kakak-kakak tingkat yang telah memberikan warna-warni kehidupan dunia kampus dan segala bantuan kepada penulis.
16. Semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Bandar Lampung, 22 Juni 2023

Penulis,

Amalia Insani

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRACT	ii
ABSTRAK	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Kegunaan Produk	2
1.3. Ketersediaan Bahan Baku.....	3
1.4. Analisa Pasar	3
1.5. Kapasitas Produksi Pabrik.....	5
1.6. Lokasi Pabrik.....	6
II. DESKRIPSI PROSES	9
2.1. Jenis-jenis Proses.....	9
2.2. Pemilihan Proses	11
2.2.1 Tinjauan Ekonomi	11

2.2.2	Tinjauan Termodinamika.....	17
2.3.	Deskripsi Proses	28
III.	SPEKIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK.....	30
3.1.	Bahan Baku	30
3.2.	Bahan Pembantu.....	31
3.3.	Produk.....	31
IV.	NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI.....	33
4.1.	Neraca Massa.....	33
4.2.	Neraca Energi	39
V.	SPEKIFIKASI ALAT	42
5.1.	Spesifikasi Peralatan Proses	42
5.2.	Peralatan Utilitas	64
VI.	UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH	92
6.1.	Unit Pendukung Proses.....	92
6.2.	Unit Pengolahan Limbah.....	105
6.3.	Laboratorium	105
6.4.	Instrumentasi dan Pengendalian Proses.....	108
VII.	TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....	110
7.1	Lokasi Pabrik.....	110
7.2	Tata Letak Pabrik	113
7.3	Estimasi Area Pabrik	116
VIII.	MANAJEMEN DAN ORGANISASI.....	119
8.1	Bentuk Perusahaan	119
8.2	Struktur Organisasi Perusahaan.....	122
8.3	Tugas dan Wewenang.....	125

8.4	Status Karyawan dan Sistem Penggajian	132
8.5	Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	133
8.6	Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	136
8.7	Kesejahteraan Karyawan.....	140
IX. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....		144
9.1	Investasi.....	144
9.2	Evaluasi Ekonomi.....	149
9.3	Angsuran Pinjaman	152
9.4	Discounted <i>Cash Flow</i> (DCF).....	152
X. SIMPULAN DAN SARAN		153
10.1	Simpulan.....	153
10.2	Saran.....	153
DAFTAR PUSTAKA.....		154
LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASA		
LAMPIRAN B PERHITUNGAN NERACA ENERGI		
LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT		
LAMPIRAN D PERHITUNGAN UTILITAS		
LAMPIRAN E PERHITUNGAN INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI		
LAMPIRAN F TUGAS KHUSUS PERANCANGAN REAKTOR (RE-201)		

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor Etil Akrilat (Badan Pusat Statistika, 2017-2021)	4
Tabel 2. 1 Harga komponen pada proses oksidasi propilena (ICIS, 2007)..	13
Tabel 2. 2 Harga komponen pada proses esterifikasi (Molbase, 2007 ; ICIS, 2007)	14
Tabel 2. 3 Harga komponen pada proses esterifikasi (Molbase, 2007 ; ICIS, 2007)	16
Tabel 2. 4 Perubahan entalpi standar oksidasi propilena pada T 298 K	18
Tabel 2. 5 Nilai konstanta Cp pada proses oksidasi propilena	18
Tabel 2. 6 Perubahan entalpi standar pada T 298 K oksidasi propilena	20
Tabel 2. 7 Nilai konstanta Cp pada proses oksidasi propilena.....	21
Tabel 2. 8 Perubahan entalpi standar oksidasi propielena pada T 298 K	22
Tabel 2. 9 Nilai konstanta Cp pada proses oksidasi propilena	23
Tabel 2. 10 Perubahan entalpi standar esterifikasi pada T 298 K.....	25
Tabel 2. 11 Nilai konstanta Cp pada proses esterifikasi (Yaws, 1999).....	25
Tabel 2. 12 Perbandingan Proses.....	27
Tabel 4. 1 Neraca Massa pada MT – 101.....	33
Tabel 4. 2 Neraca Massa pada HE – 101	34
Tabel 4. 3 Neraca Massa pada RE – 201	34
Tabel 4. 4 Neraca Massa pada HE – 301	35
Tabel 4. 5 Neraca Massa pada MD – 301	35
Tabel 4. 6 Neraca Massa pada CD – 301	35
Tabel 4. 7 Neraca Massa pada RB – 301	36
Tabel 4. 8 Neraca Massa pada MD – 302	36
Tabel 4. 9 Neraca Massa pada CD – 302.....	36
Tabel 4. 10 Neraca Massa pada RB – 302	37
Tabel 4. 11 Neraca Massa pada MD – 303	37
Tabel 4. 12 Neraca Massa pada CD – 303.....	38

Tabel 4. 13 Neraca Massa pada RB – 303	38
Tabel 4. 14 Neraca Massa pada CO – 301	38
Tabel 4. 15 Neraca Energi pada MT – 101	39
Tabel 4. 16 Neraca Energi pada HE – 101	39
Tabel 4. 17 Neraca Energi pada RE – 201	39
Tabel 4. 18 Neraca Energi pada HE – 301	40
Tabel 4. 19 Neraca Energi pada MD– 301	40
Tabel 4. 20 Neraca Energi pada MD– 302	41
Tabel 4. 21 Neraca Energi pada MD– 303	41
Tabel 4. 22 Neraca Energi pada CO– 301	41
Tabel 5.1. 1 Spesifikasi Tangki Asam Akrilat (ST-101)	42
Tabel 5.1. 2 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-102)	43
Tabel 5.1. 3 Spesifikasi Tangki Etanol (ST-103)	43
Tabel 5.1. 4 Spesifikasi Mixing Tank (MT-101)	44
Tabel 5.1. 5 Spesifikasi Heat Exchanger (HE-101)	45
Tabel 5.1. 6 Spesifikasi Reaktor (RE-201)	45
Tabel 5.1. 7 Spesifikasi Heat Exchanger (HE – 301)	46
Tabel 5.1. 8 Spesifikasi Menara Distilasi I (MD-301)	47
Tabel 5.1. 9 Spesifikasi Condensor (CD - 301)	48
Tabel 5.1. 10 Spesifikasi Akumulator (AC – 301)	49
Tabel 5.1. 11 Spesifikasi Reboiler (RB – 301)	50
Tabel 5.1. 12 Spesifikasi Menara Distilasi II (MD-302)	50
Tabel 5.1. 13 Spesifikasi Condensor (CD - 302)	51
Tabel 5.1. 14 Spesifikasi Akumulator (AC – 302)	52
Tabel 5.1. 15 Spesifikasi Reboiler (RB – 302)	52
Tabel 5.1. 16 Spesifikasi Menara Distilasi I (MD-303)	53
Tabel 5.1. 17 Spesifikasi Condensor (CD - 303)	54
Tabel 5.1. 18 Spesifikasi Akumulator (AC – 303)	55
Tabel 5.1. 19 Spesifikasi Reboiler (RB – 303)	55
Tabel 5.1. 20 Spesifikasi Cooler (CO – 301)	56
Tabel 5.1. 21 Spesifikasi Tangki Produk (ST-401)	57

Tabel 5.1. 22 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 101)	57
Tabel 5.1. 23 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 102)	58
Tabel 5.1. 24 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 103)	59
Tabel 5.1. 25 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 104)	59
Tabel 5.1. 26 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 301)	60
Tabel 5.1. 27 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 302)	61
Tabel 5.1. 28 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 303)	61
Tabel 5.1. 29 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 304)	62
Tabel 5.1. 30 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 305)	63
Tabel 5.1. 31 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 306)	63
Tabel 5.1. 32 Spesifikasi Pompa Proses (PP – 307)	64
Tabel 5.2. 1 Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401)	64
Tabel 5.2. 2 Spesifikasi Alum Tank Solution (ST-401).....	65
Tabel 5.2. 3 Spesifikasi NaOH Solution Tank (ST-402)	65
Tabel 5.2. 4 Spesifikasi Kaporit Solution Tank (ST-403)	66
Tabel 5.2. 5 Spesifikasi Clarifier (CL-401)	67
Tabel 5.2. 6 Spesifikasi Sand Filter (SF-401).....	67
Tabel 5.2. 7 Spesifikasi Filter Water Tank (FWT-401).....	68
Tabel 5.2. 8 Spesifikasi Domestik Water Tank (DOWT-401).....	69
Tabel 5.2. 9 Spesifikasi Tangki Air Hidran (HT-401).....	69
Tabel 5.2. 10 Spesifikasi Hot Basin (HB-401)	70
Tabel 5.2. 11 Spesifikasi Cooling Tower (CT-401).....	70
Tabel 5.2. 12 Spesifikasi Cooling Tower (CT-401).....	71
Tabel 5.2. 13 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-404)	71
Tabel 5.2. 14 Spesifikasi Tangki Dispersant (ST-405).....	72
Tabel 5.2. 15 Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-406).....	72
Tabel 5.2. 16 Spesifikasi Cation Exchanger (CE-401)	73
Tabel 5.2. 17 Spesifikasi Anion Exchanger (AE-401).....	74
Tabel 5.2. 18 Spesifikasi Demin Water Tank (DWT-401)	74
Tabel 5.2. 19 Spesifikasi Deaerator (DA-501).....	75
Tabel 5.2. 20 Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-501).....	76

Tabel 5.2. 21 Spesifikasi Boiler (BO-501).....	76
Tabel 5.2. 22 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-502)	77
Tabel 5.2. 23 Spesifikasi Tangki Air Kondensat (ST-503).....	77
Tabel 5.2. 24 Spesifikasi Air Dryer (AD-601).....	78
Tabel 5.2. 25 Spesifikasi Air Compressor (CO-601).....	78
Tabel 5.2. 26 Spesifikasi Cyclone (CN-601)	79
Tabel 5.2. 27 Spesifikasi Blower Udara 1 (BU-601).....	79
Tabel 5.2. 28 Spesifikasi Blower Udara 2 (BU-602).....	79
Tabel 5.2. 29 Spesifikasi Blower Udara 3 (BU-603).....	80
Tabel 5.2. 30 Spesifikasi Blower Udara 4 (BU-604).....	80
Tabel 5.2. 31 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401)	80
Tabel 5.2. 32 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402)	81
Tabel 5.2. 33 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403)	81
Tabel 5.2. 34 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404)	82
Tabel 5.2. 35 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405)	82
Tabel 5.2. 36 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406)	83
Tabel 5.2. 37 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407)	83
Tabel 5.2. 38 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408)	84
Tabel 5.2. 39 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409)	84
Tabel 5.2. 40 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410)	85
Tabel 5.2. 41 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411)	85
Tabel 5.2. 42 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412)	86
Tabel 5.2. 43 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413)	86
Tabel 5.2. 44 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414)	87
Tabel 5.2. 45 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415)	87
Tabel 5.2. 46 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-416)	88
Tabel 5.2. 47 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-417)	88
Tabel 5.2. 48 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-418)	89
Tabel 5.2. 49 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501)	89
Tabel 5.2. 50 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-502)	90
Tabel 5.2. 51 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-503)	90

Tabel 5.2. 52 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-503)	91
Tabel 6. 1 Kebutuhan air untuk general uses	93
Tabel 6. 2 Kebutuhan air untuk pembangkit <i>steam</i>	93
Tabel 6. 3 Kebutuhan air pendingin	96
Tabel 6. 4 Tingkatan kebutuhan informasi dan sistem pengendalian.	109
Tabel 7. 1 Perincian luas area pabrik Etil Akrilat	116
Tabel 8. 1 Jadwal kerja masing - masing regu.....	135
Tabel 8. 2 Perincian tingkat Pendidikan	136
Tabel 8. 3 Jumlah operator berdasarkan jenis alat	137
Tabel 8. 4 Jumlah karyawan berdasarkan jabatan.....	138
Tabel 9. 1 Fixed capital investment	144
Tabel 9. 2 Manufacturing cost	145
Tabel 9. 3 General expenses.....	146
Tabel 9. 4 Biaya administratif.....	146
Tabel 9. 5 Minimum acceptable percent return on investment	148
Tabel 9. 6 Acceptable payout time untuk tingkat risiko pabrik.....	149

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Data impor etil akrilat di Indonesia.....	4
Gambar 6. 1. Diagram <i>Cooling Water System</i>	98
Gambar 7. 1 Lokasi pabrik.....	117
Gambar 7. 2 Tata letak pabrik dan fasilitas pendukung.....	117
Gambar 7. 3 Tata letak peralatan proses	118
Gambar 8. 1 Struktur organisasi perusahaan.....	124
Gambar 9. 1 Grafik <i>Break Even Point</i> (BEP)	151
Gambar 9. 2 Kurva <i>cummulative cash flow</i>	152

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Inovasi proses produksi maupun pembangunan pabrik baru bertujuan untuk mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap produk luar negeri, meningkatkan penggunaan bahan baku yang tersedia di dalam negeri dan memperkuat struktur ekonomi nasional. Salah satu pembangunan pabrik yang terus berkembang di bidang petrokimia adalah pabrik yang memproduksi asam akrilat berikut esternya.

Salah satu ester dari asam akrilat yang banyak dibutuhkan sebagai produk intermediet adalah etil akrilat. Etil akrilat memiliki rumus molekul $C_5H_8O_2$ dan disebut juga etil propanoat atau *acrylic acid ethyl ester*. Etil akrilat berbentuk cairan yang berbau sangat menyengat dan akan stabil di bawah kondisi penyimpanan yang direkomendasikan. (The Dow Chemical Company, 2014)

Etil akrilat diproduksi dengan proses esterifikasi yang mereaksikan asam akrilat dengan alcohol, dan menghasilkan air sebagai produk samping. Etil akrilat banyak digunakan untuk memproduksi *adhesive* dan *coating*. Sebagai contoh, penggunaan etil akrilat dalam formulasi cat latex akan menghasilkan cat anti air. Serta tahan terhadap kerusakan akibat hujan, angin, dan panas. Dengan banyaknya kegunaan etil akrilat dalam kehidupan sehari-hari, maka pabrik etil akrilat perlu didirikan dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

- 1) Dengan adanya pabrik ini diharapkan dapat mendorong perkembangan industri Indonesia secara umum.
- 2) Dengan adanya pabrik ini di dalam negeri, maka impor etil akrilat dapat dikurangi,

- 3) Dengan adanya pabrik ini diharapkan dapat mendorong berdirinya industri kimia lain, yang menggunakan etil akrilat sebagai bahan baku utama atau bahan baku penunjang.
- 4) Membuka lapangan pekerjaan untuk penduduk di sekitar wilayah industri yang akan didirikan, sehingga dapat mengurangi jumlah pengangguran dan secara tidak langsung meningkatkan perekonomian masyarakat.

1.2. Kegunaan Produk

Ester akrilik yang termasuk di dalamnya etil akrilat, tidak dijual untuk pemakaian langsung oleh konsumen, tetapi digunakan sebagai bahan baku/tambahan untuk membuat beberapa produk kimia. Secara khusus ester akrilik digunakan untuk pembuatan polimer. Sebagian besar polimer digunakan untuk *coating* dan *adhesives*. Berikut ini penjelasan kegunaan etil akrilat pada berbagai produk polimer:

1) *Coatings*

Coating merupakan proses pelapisan suatu material dengan tujuan dekorasi, fungsional, atau keduanya. Tujuan fungsional diantaranya adalah untuk proteksi terhadap korosi, membuat kain dan kertas *waterproof*, dan lain-lain.

Sebagai contoh dalam industri otomotif, ada tiga lapisan yang secara umum digunakan yaitu:

- a) Lapisan cat dasar berbasis air (*water based*), sebagai proteksi terhadap korosi
- b) Lapisan intermediat, sebagai lapisan pengisi untuk mengkompensasi ketidakberimbangan substrat
- c) Lapisan berpigmen

Cat dasar dapat berupa poliakrilat berbasis *waterborne*. Sistem *waterborne* atau sistem pelarut rendah semakin banyak digunakan pada *fillers* dan lapisan dasar metalik. Resin akrilik dengan gugus hidroksil yang direaksikan dengan resin melamin atau ispsianat, digunakan dalam *clearcoat* (Ullmann's, 2003). Resin itu

sendiri merupakan komponen utama dalam cat yang berfungsi untuk merekatkan komponen-komponen yang ada dan merekatkan keseluruhan bahan pada permukaan suatu bahan (membentuk film) (Anonim, 2009).

Keuntungan yang diberikan dalam penggunaan polimer ini adalah permukaan halus, dan tahan cuaca. Sebagai contoh, penggunaan etil akrilat dalam formulasi cat latex akan menghasilkan cat anti air, serta tahan terhadap kerusakan akibat hujan, angin, dan panas.

2) *Adhesives*

Adhesive adalah bahan yang digunakan untuk menyatukan atau menyambungkan suatu bahan yang sama ataupun berbeda jenis materialnya. Misalnya logam dengan logam, logam dengan kayu, atau logam dengan karet.

Etil akrilat sebagai *co-monomer* digunakan dalam *adhesive* konstruksi dan *adhesive* yang sensitive terhadap tekanan.

1.3. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku asam akrilat diperoleh dari PT. Nippon Shokubai Indonesia (NSI), beralamat di Kawasan Industri Panca Puri Jalan Raya Anyer Km.122 Ciwandan, Cilegon, Banten, dengan kapasitas produksi 140.000 ton per tahun.

Etanol diperoleh dari PT. Indo Acidatama Chemical beralamat di Jalan Raya Solo Seragen Km.11,4 Kemiri, Surakarta, dengan kapasitas produksi sebesar 50.000 kL/tahun.

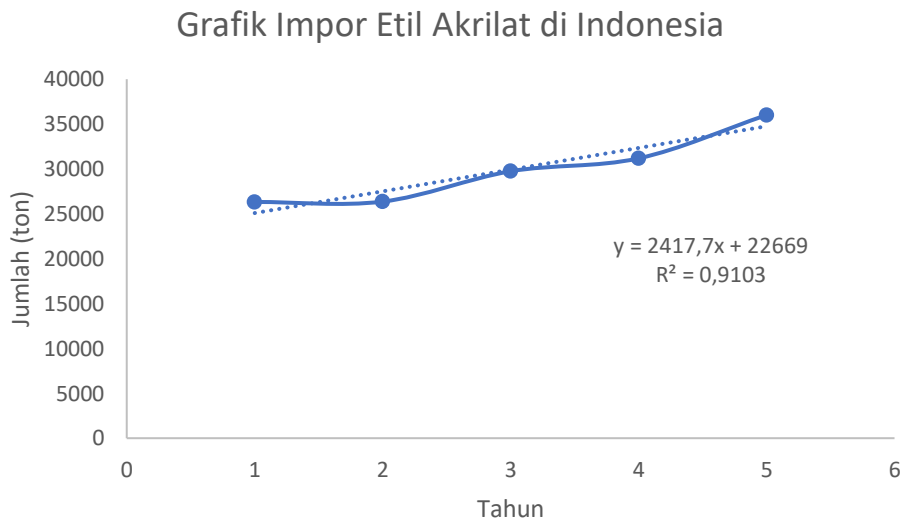
1.4. Analisa Pasar

Analisa pasar merupakan langkah untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap suatu produk. Adapun Analisa pasar etil akrilat berdasarkan data impor etil akrilat adalah sebagai berikut:

Tabel 1. 1 Data Impor Etil Akrilat (Badan Pusat Statistika, 2017-2021)

Tahun	Jumlah (ton/tahun)
2017	26.323
2018	26.362
2019	29.741
2020	31.181
2021	36.002

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2021



Gambar 1. 1 Data impor etil akrilat di Indonesia

Pada Gambar 1.1., sumbu x merupakan tahun ke-n

Tahun 2017 = tahun ke 1

Tahun 2018 = tahun ke 2

Tahun 2019 = tahun ke 3

Tahun 2020 = tahun ke 4

Tahun 2021 = tahun ke 5

Berdasarkan data tersebut maka di plotkan pada Gambar 1.1 dan dilakukan pendekatan berupa persamaan garis lurus $y = mx + C$.

Dimana :

y = kebutuhan impor etil akrilat (ton/tahun)

x = tahun ke n

m = *slope*

C = *intercept*

Maka di dapatkan *slope* sebesar :

$$m = 2.417,7$$

$$C = 22669$$

Melalui perhitungan persamaan garis lurus maka didapatkan nilai $y = 1.417,7x + 22.669$ yang dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan impor etil akrilat di Indonesia pada tahun 2026. Didapatkan prediksi kebutuhan impor etil akrilat di Indonesia sebesar 46.846 ton/tahun.

1.5. Kapasitas Produksi Pabrik

Kapasitas produksi suatu pabrik ditentukan berdasarkan kebutuhan konsumsi produk dalam negeri yang belum terpenuhi dan melihat kapasitas pabrik yang sudah berdiri sebagai pertimbangannya. Di Indonesia sendiri belum terdapat pabrik etil akrilat maka sebagai pertimbangannya dibandingkan dengan pabrik yang sudah berdiri di luar negeri.

Dikarenakan di Indonesia belum terdapat pabrik etil akrilat maka dalam hal ini dapat diambil dari data impor kebutuhan produk tersebut. Berdasarkan data impor tersebut didapatkan persamaan garis lurus data impor etil akrilat pada tahun 2026 sebesar 46.846 ton/tahun.

Berdasarkan Undang-Undang No. 5 Tahun 1999 Pasal 25 tentang larangan pabrik monopoli dan persaingan usaha tidak sehat menyatakan bahwa pelaku usaha hanya diperbolehkan menguasai 75% (tujuh puluh lima persen) pangsa pasar satu jenis barang

atau jenis tertentu. Maka dari itu kami berencana membangun pabrik etil akrilat dengan kapasitas 35.000 ton/tahun atau sekitar 75% dari kebutuhan etil akrilat di Indonesia.

1.6. Lokasi Pabrik

Lokasi suatu pabrik merupakan unsur penting dalam menunjang keberhasilan pembangunan industri. Untuk itu, perlu dipertimbangkan dengan cermat agar didapat keuntungan yang maksimal bagi perusahaan. Secara geografis penentuan letak lokasi pabrik sangat menentukan kemajuan pabrik tersebut saat produksi maupun di masa yang akan datang. Oleh karena itu pemilihan lokasi yang tepat dari pabrik akan menghasilkan biaya produksi dan distribusi yang seminimal mungkin, serta dapat menekan biaya produksi dan dapat memberikan keuntungan-keuntungan lain.

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan seperti ketersediaan bahan baku, transportasi, utilitas, maupun tersedianya tenaga kerja. Lokasi yang dipilih untuk pendirian Pabrik Etil Akrilat adalah di Cilegon, Banten. Berikut ini pertimbangan dalam penentuan lokasi pabrik:

1. Bahan Baku

Bahan baku pembuatan etil akrilat adalah asam akrilat dan etanol. Pabrik yang memproduksi asam akrilat adalah PT. Nippon Shokubai Indonesia (NSI) yang beralamat di Cilegon dan etanol diperoleh dari PT. Indo Acidatama Chemical Kemiri, Surakarta. Sehingga dilihat dari segi bahan baku, maka pemilihan lokasi di daerah Cilegon (Banten) adalah tepat.

2. Utilitas

Penyediaan kebutuhan listrik direncanakan akan disuplai dari PLN (Perusahaan Listrik Negara)

dan produksi dari unit utilitas. Untuk kebutuhan air dapat disuplai dari air sungai yang terlebih dahulu diproses di unit pengolahan air agar layak pakai.

Air sungai tersebut digunakan sebagai air proses, air pendingin, dan air sanitasi.

3. Tenaga Kerja

Sumber tenaga kerja di daerah ini cukup banyak dan dapat diperoleh dengan mudah, karena lokasinya yang terletak di Kawasan industri, baik tenaga berpendidikan tinggi, menengah maupun tenaga kerja terampil serta tenaga *engineer*. Penerimaan tenaga kerja untuk pabrik etil akrilat ini dapat mengurangi jumlah pengangguran di daerah tersebut.

4. Fasilitas Transportasi

Transportasi sangat dibutuhkan sebagai penunjang utama untuk penyediaan bahan baku dan pemasaran produk. Banten memiliki sarana transportasi darat, laut, dan udara yang cukup baik. Tersedianya sarana transportasi darat, laut dan udara dapat menghubungkan Banten dengan kota-kota lain sehingga dapat memperlancar distribusi hasil produksi dan diharapkan hubungan antar daerah tidak mengalami hambatan.

5. Keadaan Iklim dan Tanah

Iklim yang baik (kelembaban udara, intensitas panas matahari, curah hujan, dan angin) serta kondisi tanah yang baik mempengaruhi kelancaran proses produksi sekaligus menjadi faktor pendorong bagi karyawan untuk bekerja lebih baik dengan keadaan di sekelilingnya yang mendukung.

6. Peraturan Pemerintah dan Keadaan Masyarakat

Kebijakan yang dikeluarkan oleh pemerintah akan sangat mempengaruhi kelangsungan suatu pabrik. Keuntungan bisa diperoleh jika pemerintah memberikan kemudahan kepada pihak pabrik, sedangkan pihak pabrik juga memberikan kontribusi kepada pemerintah berupa pemenuhan pajak serta dapat menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat, sehingga dapat

mengurangi pengangguran. Dan daya dukung pemerintah dan masyarakat di daerah kawasan ini cukup baik.

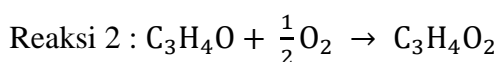
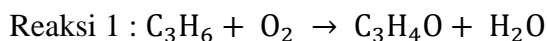
II. DESKRIPSI PROSES

2.1. Jenis-jenis Proses

Ada beberapa macam reaksi untuk menghasilkan etil akrilat, yaitu sebagai berikut

1. Proses Oksidasi Propilena

Proses ini merupakan oksidasi katalitik terhadap propilena dalam fasa uap untuk menghasilkan asam akrilat. Kemudian esterifikasi asam akrilat dan etanol dengan katalis asam atau kation exchange resin akan membentuk etil akrilat. Proses oksidasi berlangsung dalam dua tahap reaksi sebagai berikut :



Selektivitas yang tinggi dapat diperoleh dengan optimalisasi komposisi katalis dan kondisi reaksi untuk masing-masing proses. Proses kontinyu dua tahap tanpa isolasi membentuk akrolein telah dilakukan oleh Toyo Soda Company. Campuran propilen, udara, dan air di konversi menjadi akrolein di reaktor pertama. *Effluent* dari reaktor pertama akan masuk ke dalam reaktor kedua, dimana akrolein dioksidasi menjadi asam akrilat. Kemudian produk diserap dalam air untuk memperoleh larutan asam akrilat 30-60% dengan *yield* propilena 80-85%.

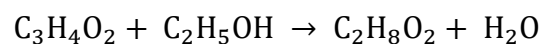
Japan Catalytic Chemical Co. dan Mitsubishi Petrochemical Co. menawarkan teknologi pembuatan akrilat termasuk katalis dengan kualitas tinggi. Jadi meskipun banyak teknologi proses dan katalis yang telah di kembangkan oleh masing-masing pabrik, mereka juga mengambil lisensi dari dua perusahaan tersebut bahkan

mengacu untuk semua *plant* dan ada juga yang menggabungkan dengan milik mereka pribadi.

Proses oksidasi dilakukan dengan reaktor *fixed-bed tipe shell and tube* (panjang 3-5 meter dan diameter 2,5 cm) dengan pendingin (garam cair) di bagian *shell*. Propilena yang diuapkan, dicampurkan dengan *steam* dan udara yang diumpankan ke reaktor pertama. Komposisi umpan 5-7% propilena, 10-30% *steam* dan udara.

Rentang temperatur reaktor adalah 280-360°C, bergantung kondisi dan selektivitas katalis. *Effluent* reaktor pertama didinginkan menjadi 200-250°C agar tidak terjadi oksidasi di pipa menuju reaktor kedua. Campuran gas yang kaya akan akrolein mengandung beberapa asam akrilat diumpankan ke reaktor kedua, yang mana sama dengan reaktor pertama, tetapi menggunakan katalis selektif untuk mengkonversi akrolein menjadi asam akrilat. Temperatur reaksi 280-360°C, bergantung pada kondisi. *Effluent* akan didinginkan dari 250°C menjadi 80°C. selanjutnya akan diumpankan ke absorber dan dimurnikan di kolom distilasi. *Yield* yang diperoleh dari tahap oksidasi ini adalah 75-86%, bergantung pada katalis, kondisi, dan usia penggunaan katalis.

Selanjutnya asam akrilat di reaksikan dengan etanol pada reaksi esterifikasi untuk memproduksi etil akrilat. Berikut reaksi proses esterifikasi yang terjadi :



(Othmer, 1998)

2. Proses Esterifikasi Asam Akrilat

Esterifikasi asam akrilat dapat dilakukan dalam fase uap. Akan tetapi dalam skala industri esterifikasi fase cair lebih menguntungkan. Proses esterifikasi dilakukan dengan mereaksikan asam akrilat, etanol, dan asam sulfat sebagai katalis. Rentang konsentrasi katalis yang digunakan adalah 4% sampai 8%. Reaksi berlangsung di dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) pada temperature 60°C sampai 80°C. Berikut ini reaksi proses esterifikasi yang berlangsung dalam reaktor :



Keluaran reaktor dilanjutkan dengan proses pemurnian didalam kolom distilasi.

Konversi yang dihasilkan paling sedikit 90%.

2.2. Pemilihan Proses

Pemilihan proses bertujuan untuk menentukan proses mana yang akan dipilih sehingga menguntungkan baik dari segi ekonomi, energy, dan investasi alat.

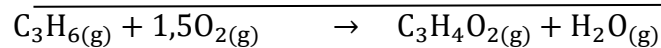
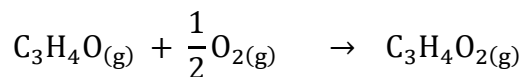
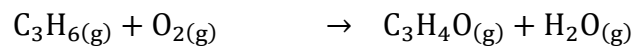
2.2.1 Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui keuntungan yang dihasilkan oleh pabrik per kg produk yang dihasilkan pada masing-masing proses yang akan digunakan. Berikut ini perbandingan keuntungan yang diperoleh melalui proses diatas:

a. Oksidasi Propilena

Reaksi yang terjadi :

- Oksidasi Propilena



Basis = 1 kg $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$ (Produk etil akrilat)

BM $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$ = 72

BM H_2O = 18

$$\begin{aligned} \text{BM C}_3\text{H}_6 &= 42 \\ \text{BM O}_2 &= 32 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah produk C}_3\text{H}_4\text{O}_2 = \frac{1000 \text{ gr}}{72 \text{ gr/mol}} = 13,89$$

$$\text{Yield} = 75\%$$

$$\text{Mol C}_3\text{H}_4\text{O}_2 = \frac{\text{Massa C}_3\text{H}_4\text{O}_2}{\text{BM C}_3\text{H}_4\text{O}_2} = \frac{1000 \text{ gr}}{72 \text{ gr/mol}} =$$

$$13,89 \text{ mol}$$

$$\text{Yield} = \frac{\text{Mol C}_3\text{H}_4\text{O}_2}{\text{mol C}_3\text{H}_6}$$

$$0,75 = \frac{13,89 \text{ mol}}{\text{mol C}_3\text{H}_6}$$

$$\text{Mol C}_3\text{H}_6 = 18,5 \text{ mol}$$

Jadi, berdasarkan stoikiometri :

	$\text{C}_3\text{H}_{6(g)} + 1,5\text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_4\text{O}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)}$			
Mula-mula	18,5		27,8	
Bereaksi	13,89	20,83	13,89	13,89
Sisa	4,63	6,94	13,89	13,89

Maka :

Jumlah reaktan yang dibutuhkan :

$$\text{C}_3\text{H}_6 = 18,5 \text{ mol} \times \frac{42 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,78 \text{ kg}$$

$$\text{O}_2 = 27,8 \text{ mol} \times \frac{31 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,89 \text{ kg}$$

Jumlah produk yang terbentuk :

$$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2 = 13,89 \text{ mol} \times \frac{72 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1 \text{ kg}$$

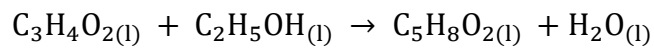
$$\text{H}_2\text{O} = 13,89 \text{ mol} \times \frac{18 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,25 \text{ kg}$$

Berikut ini daftar harga masing-masing komponen :

Tabel 2. 1 Harga komponen pada proses oksidasi propilena (ICIS, 2007)

	Komponen	Rumus Kimia	\$/ton	\$/kg
Bahan Baku	Propilena	C_3H_6	510	0,51
	Oksigen	O_2	0	0
Produk	Asam Akrilat	$C_3H_4O_2$	1130	1,13
	Air	H_2O	0	0

- Proses Esterifikasi



$$\text{Basis} = 1 \text{ kg } C_5H_8O_2(\text{Produk etil akrilat})$$

$$\text{BM } C_5H_8O_2 = 100$$

$$\text{BM } H_2O = 18$$

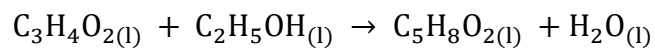
$$\text{BM } C_3H_4O_2 = 72$$

$$\text{BM } O_2 = 32$$

$$\text{Jumlah produk } C_5H_8O_2 = \frac{1000 \text{ gr}}{100 \text{ gr/mol}} = 10 \text{ mol}$$

$$\text{Konversi} = 90\%$$

Jadi, berdasarkan stoikiometri :



$$\text{Mula-mula} \quad x \quad \quad x$$

$$\text{Bereaksi} \quad 10 \quad \quad 10 \quad \quad 10 \quad \quad 10$$

$$\text{Sisa} \quad \quad x-10 \quad \quad x-10 \quad \quad 10 \quad \quad 10$$

Maka :

Mol mula-mula

$$x - 0,9x = x - 10$$

$$0,9x = 10$$

$$x = 11,1 \text{ mol}$$

Maka :

Jumlah reaktan yang dibutuhkan :

$$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2 = 11,1 \text{ mol} \times \frac{72 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,8 \text{ kg}$$

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 11,1 \text{ mol} \times \frac{46 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,51 \text{ kg}$$

Jumlah produk yang terbentuk :

$$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2 = 10 \text{ mol} \times \frac{100 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1 \text{ kg}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 10 \text{ mol} \times \frac{18 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,18 \text{ kg}$$

Berikut ini daftar harga masing-masing komponen :

Tabel 2. 2 Harga komponen pada proses esterifikasi (Molbase, 2007 ; ICIS, 2007)

	Komponen	Rumus Kimia	\$/ton	\$/kg
Bahan Baku	Asam Akrilat	$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$	48,4	0,0484
	Etanol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	266,67	0,26667
Produk	Etil Akrilat	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	1223	1,223
	Air	H_2O	0	0

Untuk menghitung perolehan keuntungan kasar, dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$\text{EP} = \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku}$$

$$\text{EP} = (\text{Etil Akrilat}) - (\text{Propilena} + \text{Oksigen} + \text{Etanol})$$

$$\text{EP} = (1 \times 1,233) - ((0,78 \times 0,51) + (0,89 \times 0) + (0,51 \times 0,267))$$

$$\text{EP} = 1,04703 \text{ \$/kg}$$

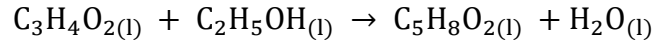
$$\text{EP} = 1,04703 \text{ \$/kg} \times 1000 \text{ kg/ton} \times 50000 \text{ ton/tahun}$$

$$EP = 52.351.500 \text{ \$/tahun}$$

$$EP = 701.038.936.500 \text{ Rp/tahun}$$

b. Proses Esterifikasi

Reaksi yang terjadi :



$$\text{Basis} = 1 \text{ kg } C_5H_8O_2 \text{ (Produk etil akrilat)}$$

$$\text{BM } C_5H_8O_2 = 100$$

$$\text{BM } H_2O = 18$$

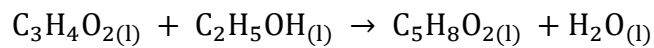
$$\text{BM } C_3H_4O_2 = 72$$

$$\text{BM } O_2 = 32$$

$$\text{Jumlah produk } C_5H_8O_2 = \frac{1000 \text{ gr}}{100 \text{ gr/mol}} = 10 \text{ mol}$$

$$\text{Konversi} = 90\%$$

Jadi, berdasarkan stoikiometri :



Mula-mula	x	x		
Bereaksi	10	10	10	10
Sisa	x-10	x-10	10	10

Maka :

Mol mula-mula

$$x - 0,9x = x - 10$$

$$0,9x = 10$$

$$x = 11,1 \text{ mol}$$

Maka :

Jumlah reaktan yang dibutuhkan :

$$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2 = 11,1 \text{ mol} \times \frac{72 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,8 \text{ kg}$$

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 11,1 \text{ mol} \times \frac{46 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,51 \text{ kg}$$

Jumlah produk yang terbentuk :

$$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2 = 10 \text{ mol} \times \frac{100 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1 \text{ kg}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 10 \text{ mol} \times \frac{18 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,18 \text{ kg}$$

Berikut ini daftar harga masing-masing komponen :

Tabel 2. 3 Harga komponen pada proses esterifikasi (Molbase, 2007 ; ICIS, 2007)

	Komponen	Rumus Kimia	\$/ton	\$/kg
Bahan Baku	Asam Akrilat	$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$	48,4	0,0484
	Etanol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	266,67	0,26667
Produk	Etil Akrilat	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	1233	1,233
	Air	H_2O	0	0

Untuk menghitung perolehan keuntungan kasar, dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$\text{EP} = \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku}$$

$$\text{EP} = (\text{Etil Akrilat}) - (\text{Asam Akrilat} + \text{Etanol})$$

$$\text{EP} = (1 \times 1,233) - ((0,8 \times 0,0484) + (0,51 \times 0,26667))$$

$$\text{EP} = 1,480561756 \text{ \$/kg}$$

$$\text{EP} = 1,480561756 \text{ \$/kg} \times 1000 \text{ kg/ton} \times 50000 \text{ ton/tahun}$$

$$\text{EP} = 74.028.087 \text{ \$/tahun}$$

$$\text{EP} = 991.310.000.000 \text{ Rp/tahun}$$

2.2.2 Tinjauan Termodinamika

1. Tinjauan Termodinamika Berdasarkan Perubahan Entalpi

Perubahan entalpi (ΔH) menunjukkan panas reaksi yang dihasilkan ataupun panas reaksi yang dibutuhkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia. Dalam hal ini, pada reaksi pembentukan etil akrilat. Besar atau kecil nilai ΔH tersebut menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan maupun yang dihasilkan.

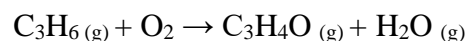
ΔH bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas untuk berlangsungnya reaksi. Sehingga, semakin besar ΔH maka semakin besar juga energi yang dibutuhkan dan *cost* yang harus dikeluarkan. Sedangkan ΔH bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi. Sehingga tidak membutuhkan energi selama proses namun membutuhkan energi untuk penyerapan panas agar reaksi tetap berlangsung pada temperatur reaksinya. Penentuan panas reaksi yang berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298 \text{ K}$. Berikut ini perhitungan panas pembentukan pada masing-masing proses :

1) Proses Okidasi Propilena

Reaksi yang terjadi

a. Oksidasi Propilena

- Reaksi 1 yang terjadi



Nilai ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2. 4 Perubahan entalpi standar oksidasi propilena pada T 298 K
(Yaws, 1999)

Komponen	Rumus Kimia	ΔH_f°
Propilena	$C_3H_6(g)$	24.420
Oksigen	O_2	0
Akroelin	$C_3H_4O(g)$	-81.000
Air	$H_2O(g)$	-241.800

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{rx}(298,15\text{ K}) &= \sum_{\text{produk}} n_i \cdot \Delta H_f^\circ - \sum_{\text{reaktan}} n_i \cdot \Delta H_f^\circ \quad (\text{himmelblau,1984}) \\
 &= [\Delta H_f^\circ C_3H_4O(g) + H_2O(g)] - [\Delta H_f^\circ C_3H_6(g) + O_2(g)] \\
 &= [(1 \times (-81.000)) + (1 \times (-241.800))] - [(1 \times 24.420) + \\
 &\quad (1 \times 0)] \\
 &= -343.220 \text{ kJ/kmol}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $\Delta H_{298}^\circ = -343.220 \text{ kJ/kmol}$, maka reaksi bersifat eksotermis.

Panas reaksi pada suhu 330°C sebagai berikut :

Tabel 2. 5 Nilai konstanta Cp pada proses oksidasi propilena (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	D	E
$C_3H_6(g)$	31,298	$7,2249 \cdot 10^{-2}$	$1,9481 \cdot 10^{-4}$	$-2,1582 \cdot 10^{-7}$	$6,2974 \cdot 10^{-11}$
$O_2(g)$	29,526	$-8,8999 \cdot 10^{-3}$	$3,8083 \cdot 10^{-5}$	$-3,2629 \cdot 10^{-8}$	$8,8607 \cdot 10^{-12}$
$C_3H_4O(g)$	109,243	$-5,0952 \cdot 10^{-1}$	$1,7059 \cdot 10^{-4}$	$-1,8068 \cdot 10^{-6}$	$6,5983 \cdot 10^{-10}$
$H_2O(g)$	33,933	$-8,4186 \cdot 10^{-3}$	$2,9906 \cdot 10^{-5}$	$-1,7825 \cdot 10^{-8}$	$3,6934 \cdot 10^{-12}$

$$\Delta H = \int C_p dT = \int (A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3 + E \cdot T^4) dT$$

(Yaws, 1999)

$$\Delta H = A \cdot T + \left(\frac{B}{2}\right) T^2 + \left(\frac{C}{3}\right) T^3 + \left(\frac{D}{4}\right) T^4 + \left(\frac{E}{5}\right) T^5 \Big|_{T_1}^{T_2}$$

Reaktan

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{C}_3\text{H}_6(\text{g})} &= (31,298 \times (298,15 \text{ K} - 603,15 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{7,2249 \cdot 10^{-2}}{2}\right) x (298,15^2 \text{ K} - 603,15^2 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{1,9481 \cdot 10^{-4}}{3}\right) x (298,15^3 \text{ K} - 603,15^3 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-2,1582 \cdot 10^{-7}}{4}\right) x (298,15^4 \text{ K} - 603,15^4 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{6,2974 \cdot 10^{-11}}{5}\right) x (298,15^5 \text{ K} - 603,15^5 \text{ K})) \\ \Delta H_{\text{C}_3\text{H}_6(\text{g})} &= -2,6265 \times 10^4 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{O}_2(\text{g})} &= (29,526 \times (298,15 \text{ K} - 603,15 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-8,8999 \cdot 10^{-2}}{2}\right) x (298,15^2 \text{ K} - 603,15^2 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{3,8083 \cdot 10^{-5}}{3}\right) x (298,15^3 \text{ K} - 603,15^3 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-3,2629 \cdot 10^{-8}}{4}\right) x (298,15^4 \text{ K} - 603,15^4 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{8,8607 \cdot 10^{-12}}{5}\right) x (298,15^5 \text{ K} - 603,15^5 \text{ K})) \\ \Delta H_{\text{O}_2(\text{g})} &= -9,2522 \times 10^3 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Produk

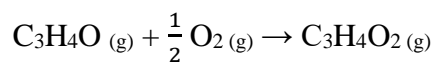
$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{C}_3\text{H}_4\text{O}(\text{g})} &= (109,243 \times (603,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-5,0952 \cdot 10^{-1}}{2}\right) x (603,15^2 \text{ K} - 298,15^2 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{1,7059 \cdot 10^{-4}}{3}\right) x (603,15^3 \text{ K} - 298,15^3 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-1,8068 \cdot 10^{-6}}{4}\right) x (603,15^4 \text{ K} - 298,15^4 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{6,5983 \cdot 10^{-10}}{5}\right) x (603,15^5 \text{ K} - 298,15^5 \text{ K})) \\ \Delta H_{\text{C}_3\text{H}_4\text{O}(\text{g})} &= -3,5618 \times 10^4 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})} &= (33,933 \times (603,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-8,4186 \cdot 10^{-3}}{2}\right) x (603,15^2 \text{ K} - 298,15^2 \text{ K}) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{-2,9906 \cdot 10^{-5}}{3} \right) \times (603,15^3 K - 298,15^3 K) + \\ & \left(\frac{-1,7825 \cdot 10^{-8}}{4} \right) \times (603,15^4 K - 298,15^4 K) + \\ & \left(\frac{3,6934 \cdot 10^{-12}}{5} \right) \times (603,15^5 K - 298,15^5 K) \\ \Delta H_{H_2O(g)} &= 1,0618 \times 10^4 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{rx} (603,15 \text{ K}) = -8,1879 \times 10^5 \text{ kJ/kmol}$$

- Reaksi 2 yang terjadi



Nilai ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2. 6 Perubahan entalpi standar pada T 298 K oksidasi propilena (Yaws, 1999)

Komponen	Rumus Kimia	ΔH_f°
Propilena	$C_3H_6(g)$	24.420
Oksigen	O_2	0
Asam akrilat	$C_3H_4O_2(g)$	-336.230

$$\begin{aligned} \Delta H_{rx} (298,15 \text{ K}) &= \sum_{\text{produk}} n_i \cdot \Delta H_f^\circ - \sum_{\text{reaktan}} n_i \cdot \Delta H_f^\circ \quad (\text{himmelblau, 1984}) \\ &= [\Delta H_f^\circ C_3H_4O_2(g)] - [\Delta H_f^\circ C_3H_6(g) + O_2(g)] \\ &= [(1 \times (-336.230)) + (1 \times (-241.800))] - [\left(\frac{1}{2} \times 24.420 \right)] \\ & \\ &= -255.230 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Karena nilai $\Delta H_{298}^\circ = -255.230 \text{ kJ/kmol}$, maka reaksi bersifat eksotermis.

Panas reaksi pada suhu 200°C (473,15 K) sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Nilai konstanta Cp pada proses oksidasi propilena (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	D	E
C ₃ H ₆ (g)	31,298	7,2249.10 ⁻²	1,9481.10 ⁻⁴	-2,1582.10 ⁻⁷	6,2974.10 ⁻¹¹
O ₂ (g)	29,526	-8,8999.10 ⁻³	3,8083.10 ⁻⁵	-3,2629.10 ⁻⁸	8,8607.10 ⁻¹²
C ₃ H ₄ O ₂ (g)	7,755	-2,9386.10 ⁻¹	-2,0878.10 ⁻⁴	7,1591.10 ⁻⁸	-9,0960.10 ⁻¹²

$$\Delta H = \int C_p dT = \int (A + B.T + C.T^2 + D.T^3 + E.T^4) dT$$

(Yaws, 1999)

$$\Delta H = A.T + \left(\frac{B}{2}\right)T^2 + \left(\frac{C}{3}\right)T^3 + \left(\frac{D}{4}\right)T^4 + \left(\frac{E}{5}\right)T^5 \Big|_{T_1}^{T_2}$$

Reaktan

$$\begin{aligned} \Delta H_{C_3H_4O_2(g)} &= (109,243 \times (298,15 \text{ K} - 473,15 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-5,0952 \cdot 10^{-1}}{2}\right) \times (298,15^2 \text{ K} - 473,15^2 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{1,7059 \cdot 10^{-4}}{3}\right) \times (298,15^3 \text{ K} - 473,15^3 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-1,8068 \cdot 10^{-6}}{4}\right) \times (298,15^4 \text{ K} - 473,15^4 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{6,5983 \cdot 10^{-10}}{5}\right) \times (298,15^5 \text{ K} - 473,15^5 \text{ K})) \end{aligned}$$

$$\Delta H_{C_3H_4O_2(g)} = 2,7004 \times 10^4 \text{ kJ/kmol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{O_2(g)} &= (29,526 \times (298,15 \text{ K} - 473,15 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-8,8999 \cdot 10^{-2}}{2}\right) \times (298,15^2 \text{ K} - 473,15^2 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{3,8083 \cdot 10^{-5}}{3}\right) \times (298,15^3 \text{ K} - 473,15^3 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-3,2629 \cdot 10^{-8}}{4}\right) \times (298,15^4 \text{ K} - 473,15^4 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{8,8607 \cdot 10^{-12}}{5}\right) \times (298,15^5 \text{ K} - 473,15^5 \text{ K})) \end{aligned}$$

$$\Delta H_{O_2(g)} = -5,2681 \times 10^3 \text{ kJ/kmol}$$

Produk

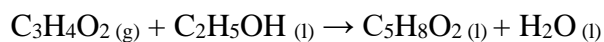
$$\begin{aligned} \Delta H_{C_3H_4O_2(g)} = & (7,755 \times (473,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) + \\ & \left(\frac{2,9386 \cdot 10^{-1}}{2}\right) \times (473,15^2 \text{ K} - 298,15^2 \text{ K})) + \\ & \left(\frac{-2,9906 \cdot 10^{-5}}{3}\right) \times (473,15^3 \text{ K} - 298,15^3 \text{ K})) + \\ & \left(\frac{7,1591 \cdot 10^{-8}}{4}\right) \times (473,15^4 \text{ K} - 298,15^4 \text{ K})) + \\ & \left(\frac{-9,0960 \cdot 10^{-12}}{5}\right) \times (473,15^5 \text{ K} - 298,15^5 \text{ K})) \end{aligned}$$

$$\Delta H_{C_3H_4O_2(g)} = 1,6379 \times 10^4 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H_{rx}(473,15 \text{ K}) = -2,1712 \cdot 10^5 \text{ kJ/kmol}$$

b. Esterifikasi

Reaksi yang terjadi



Nilai ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2. 8 Perubahan entalpi standar oksidasi propielena pada T 298 K (Yaws, 1999)

Komponen	Rumus Kimia	ΔH_f°
Asam akrilat	$C_3H_4O_2(g)$	-336.230
Etanol	$C_2H_5OH(l)$	-277.690
Etil akrilat	$C_5H_8O_2(l)$	-370.600
Air	$H_2O(l)$	-285.830

$$\Delta H_{rx}(298,15 \text{ K}) = \sum_{\text{produk}} n_i \cdot \Delta H_f^\circ - \sum_{\text{reaktan}} n_i \cdot \Delta H_f^\circ$$

(himmelblau,1984)

$$\begin{aligned} = & [\Delta H_f^\circ C_5H_8O_2(l) + H_2O(l)] - [\Delta H_f^\circ C_3H_4O_2(g) + \\ & C_2H_5OH(l)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= [(1 \times (-370.600)) + (1 \times (-285.830))] - [(1 \times -336.230) \\
&+ (1 \times -277.690)] \\
&= -42.510 \text{ kJ/kmol}
\end{aligned}$$

Karena nilai $\Delta H^{\circ}_{298} = -42.510 \text{ kJ/kmol}$, maka reaksi bersifat eksotermis.

Panas reaksi pada suhu 60°C ($333,15 \text{ K}$) sebagai berikut :

Tabel 2. 9 Nilai konstanta Cp pada proses oksidasi propilena (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	D	E
$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2(\text{g})$	7,755	$2,9386 \cdot 10^{-1}$	$-2,0878 \cdot 10^{-5}$	$7,1591 \cdot 10^{-8}$	$-9,0960 \cdot 10^{-12}$
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	59,342	$3,6358 \cdot 10^{-1}$	$-1,2164 \cdot 10^{-3}$	$1,8030 \cdot 10^{-6}$	
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2(\text{l})$	66,535	$9,1312 \cdot 10^{-1}$	$-2,7675 \cdot 10^{-3}$	$3,5431 \cdot 10^{-6}$	
$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	92,053	$-3,9953 \cdot 10^{-2}$	$-2,1103 \cdot 10^{-4}$	$5,3469 \cdot 10^{-7}$	

$$\Delta H_{(\text{g})} = \int C_p dT = \int (A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3 + E \cdot T^4) dT$$

(Yaws, 1999)

$$\Delta H_{(\text{g})} = A \cdot T + \left(\frac{B}{2}\right) T^2 + \left(\frac{C}{3}\right) T^3 + \left(\frac{D}{4}\right) T^4 + \left(\frac{E}{5}\right) T^5 \Big|_{T_1}^{T_2}$$

$$\Delta H_{(\text{l})} = \int C_p dT = \int (A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3) dT$$

(Yaws, 1999)

$$\Delta H_{(\text{l})} = A \cdot T + \left(\frac{B}{2}\right) T^2 + \left(\frac{C}{3}\right) T^3 + \left(\frac{D}{4}\right) T^4 \Big|_{T_1}^{T_2}$$

Reaktan

$$\begin{aligned}
\Delta H_{\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2(\text{g})} &= (7,755 \times (298,15 \text{ K} - 333,15 \text{ K}) + \\
&\left(\frac{2,9386 \cdot 10^{-1}}{2}\right) x (298,15^2 \text{ K} - 333,15^2 \text{ K})) + \\
&\left(\frac{-2,9906 \cdot 10^{-5}}{3}\right) x (298,15^3 \text{ K} - 333,15^3 \text{ K})) + \\
&\left(\frac{7,1591 \cdot 10^{-8}}{4}\right) x (298,15^4 \text{ K} - 333,15^4 \text{ K})) + \\
&\left(\frac{-9,0960 \cdot 10^{-12}}{5}\right) x (298,15^5 \text{ K} - 333,15^5 \text{ K}))
\end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2(\text{g})} = -2,8650 \times 10^3 \text{ kJ/kmol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}(l) &= (59,342 \times (298,15 \text{ K} - 333,15 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{3,6358 \cdot 10^{-1}}{2}\right) \times (298,15^2 \text{ K} - 333,15^2 \text{ K})) + \\ &\quad \left(\frac{-1,2164 \cdot 10^{-3}}{3}\right) \times (298,15^3 \text{ K} - 333,15^3 \text{ K})) + \\ &\quad \left(\frac{1,8030 \cdot 10^{-6}}{4}\right) \times (298,15^4 \text{ K} - 333,15^4 \text{ K})) \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}(l) = -3,8382 \times 10^3 \text{ kJ/kmol}$$

Produk

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2}(l) &= (66,535 \times (333,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{9,1312 \cdot 10^{-1}}{2}\right) \times (333,15^2 \text{ K} - 298,15^2 \text{ K})) + \\ &\quad \left(\frac{-2,7675 \cdot 10^{-3}}{3}\right) \times (333,15^3 \text{ K} - 298,15^3 \text{ K})) + \\ &\quad \left(\frac{3,5431 \cdot 10^{-6}}{4}\right) \times (333,15^4 \text{ K} - 298,15^4 \text{ K})) \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2}(l) = 6,6679 \times 10^3 \text{ kJ/kmol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{H}_2\text{O}}(l) &= (92,053 \times (333,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) + \\ &\quad \left(\frac{-3,9953 \cdot 10^{-2}}{2}\right) \times (333,15^2 \text{ K} - 298,15^2 \text{ K})) + \\ &\quad \left(\frac{-2,1103 \cdot 10^{-4}}{3}\right) \times (333,15^3 \text{ K} - 298,15^3 \text{ K})) + \\ &\quad \left(\frac{5,3469 \cdot 10^{-7}}{4}\right) \times (333,15^4 \text{ K} - 298,15^4 \text{ K})) \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{H}_2\text{O}}(l) = 2,6342 \times 10^3 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H_{\text{rx}}(333,15 \text{ K}) = -3,9911 \times 10^4 \text{ kJ/kmol}$$

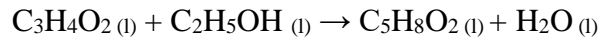
Maka perubahan entalpi standar menghasilkan

$$\Delta H_{\text{reaksi 1}} = -858.700,5677 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi 1}} = -215.456,5363 \text{ kJ/kmol}$$

2) Esterifikasi

Reaksi yang terjadi



Nilai ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2. 10 Perubahan entalpi standar esterifikasi pada T 298 K (Yaws, 1999)

Komponen	Rumus Kimia	ΔH_f°
Asam akrilat	$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2 (\text{g})$	-377.800
Etanol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} (\text{l})$	-277.690
Etil akrilat	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2 (\text{l})$	-370.600
Air	$\text{H}_2\text{O} (\text{l})$	-285.830

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{rx}} (298,15 \text{ K}) &= \sum_{\text{produk}} n_i \cdot \Delta H_f^\circ - \sum_{\text{reaktan}} n_i \cdot \Delta H_f^\circ \quad (\text{himmelblau}, 1984) \\ &= [\Delta H_f^\circ \text{ C}_5\text{H}_8\text{O}_2 (\text{l}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})] - [\Delta H_f^\circ \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}_2 (\text{g}) + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} (\text{l})] \\ &= [(1 \times (-370.600)) + (1 \times (-285.830))] - [(1 \times -377.800) + (1 \times \\ &\quad -277.690)] \\ &= -940 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Karena nilai $\Delta H_{298}^\circ = -940 \text{ kJ/kmol}$, maka reaksi bersifat eksotermis.

Panas reaksi pada suhu 85°C (358,15 K) sebagai berikut :

Tabel 2. 11 Nilai konstanta Cp pada proses esterifikasi (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	D
$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2 (\text{l})$	-18,242	1,2106	$-3,1160 \cdot 10^{-3}$	$3,1409 \cdot 10^{-6}$
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} (\text{l})$	59,342	$3,6358 \cdot 10^{-1}$	$-1,2164 \cdot 10^{-3}$	$1,8030 \cdot 10^{-6}$
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2 (\text{l})$	66,535	$9,1312 \cdot 10^{-1}$	$-2,7675 \cdot 10^{-3}$	$3,5431 \cdot 10^{-6}$
$\text{H}_2\text{O} (\text{l})$	92,053	$-3,9953 \cdot 10^{-2}$	$-2,1103 \cdot 10^{-4}$	$5,3469 \cdot 10^{-7}$

$$\Delta H_{(l)} = \int C_p dT = \int (A + B.T + C.T^2 + D.T^3) dT$$

(Yaws, 1999)

$$\Delta H_{(l)} = A.T + \left(\frac{B}{2}\right) T^2 + \left(\frac{C}{3}\right) T^3 + \left(\frac{D}{4}\right) T^4 \Big|_{T_1}^{T_2}$$

Reaktan

$$\begin{aligned} \Delta H_{C_3H_4O_2(l)} = & (-18,242 \times (298,15 \text{ K} - 358,15 \text{ K}) + \\ & \left(\frac{1,2106}{2}\right) x (298,15^2 K - 358,15^2 K)) + \\ & \left(\frac{-3,1160 \cdot 10^{-3}}{3}\right) x (298,15^3 K - 358,15^3 K)) + \\ & \left(\frac{3,1409 \cdot 10^{-6}}{4}\right) x (298,15^4 K - 358,15^4 K)) \end{aligned}$$

$$\Delta H_{C_3H_4O_2(g)} = -9.267,4548 \text{ kJ/kmol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{C_2H_5OH(l)} = & (59,342 \times (298,15 \text{ K} - 358,15 \text{ K}) + \\ & \left(\frac{3,6358 \cdot 10^{-1}}{2}\right) x (298,15^2 K - 358,15^2 K)) + \\ & \left(\frac{-1,2164 \cdot 10^{-3}}{3}\right) x (298,15^3 K - 358,15^3 K)) + \\ & \left(\frac{1,8030 \cdot 10^{-6}}{4}\right) x (298,15^4 K - 358,15^4 K)) \end{aligned}$$

$$\Delta H_{C_2H_5OH(l)} = -6.692,6539 \text{ kJ/kmol}$$

Produk

$$\begin{aligned} \Delta H_{C_5H_8O_2(l)} = & (66,535 \times (358,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) + \\ & \left(\frac{9,1312 \cdot 10^{-1}}{2}\right) x (358,15^2 K - 298,15^2 K)) + \\ & \left(\frac{-2,7675 \cdot 10^{-3}}{3}\right) x (358,15^3 K - 298,15^3 K)) + \\ & \left(\frac{3,5431 \cdot 10^{-6}}{4}\right) x (358,15^4 K - 298,15^4 K)) \end{aligned}$$

$$\Delta H_{C_5H_8O_2(l)} = 11.614,7587 \text{ kJ/kmol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{H_2O(l)} = & (92,053 \times (358,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) + \\ & \left(\frac{-3,9953 \cdot 10^{-2}}{2}\right) x (358,15^2 K - 298,15^2 K)) + \end{aligned}$$

$$\left(\frac{-2,1103 \cdot 10^{-4}}{3}\right) \times (358,15^3 K - 298,15^3 K) +$$

$$\left(\frac{5,3469 \cdot 10^{-7}}{4}\right) \times (358,15^4 K - 298,15^4 K)$$

$$\Delta H_{H_2O(l)} = 4.512,3962 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H_{rx}(358,15 \text{ K}) = -772,9539 \text{ kJ/kmol}$$

Berikut hasil perbandingan proses

Tabel 2. 12 Perbandingan Proses

	Oksidasi Propilena		Esterifikasi
	Reaksi 1	Reaksi 2	
Bahan Baku	Propilena	Akrolein	Asam Akrilat
	Oksigen	Oksigen	Etanol
Temperatur reaksi	330°C	200°C	85°C
Tekanan operasi	1 atm	1 atm	1 atm
Fasa reaksi	Gas	Gas	Cair
Yield		75	90
Keuntungan		675.736.094.250	904.817.754.750
Perubahan Entalpi Standar (298 K)	-343.220 kJ/kmol	-255.230 kJ/kmol	-940 kJ/kmol
Perubahan Entalpi Reaksi	-858.700,5677 kJ/kmol	-215.456,5363 kJ/kmol	-772,9539 kJ/kmol

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa :

- 1) *Yield* tertinggi dihasilkan pada proses esterifikasi yaitu sebesar 90%. Ini menandakan bahwa proses esterifikasi menghasilkan produk etil akrilat lebih banyak dibandingkan proses lainnya.
- 2) Temperatur reaksi pada proses esterifikasi lebih rendah dibandingkan proses lainnya yaitu sebesar 85°C, sehingga penggunaan energi lebih sedikit dibandingkan proses lainnya.
- 3) Keuntungan tertinggi diperoleh pada proses esterifikasi.

Maka berdasarkan perbandingan keempat proses pembentukan etil akrilat tersebut, dipilih proses esterifikasi fasa cair dengan bahan baku asam akrilat dan etanol.

2.3. Deskripsi Proses

Proses pembuatan etil akrilat melalui beberapa tahap sebagai berikut :

- 1) Tahap penyiapan bahan baku
- 2) Tahap pembentukan produk
- 3) Tahap pemurnian produk

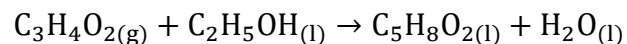
Penjabaran dan uraian tiap-tiap tahap adalah sebagai berikut :

- 1) Tahap penyiapan bahan baku

Bahan baku disimpan dalam tangki penyimpanan bahan baku untuk asam akrilat, etanol, dan asam sulfat dijaga pada suhu ruangan 30°C dan tekanan 1 atm. Dari tangki penyimpanan, ketiga bahan dialirkan oleh pompa menuju *mixing tank* untuk kemudian menuju pemanas untuk menaikkan suhunya menjadi 85°C. Selanjutnya ketiga bahan dialirkan kedalam reaktor.

- 2) Tahap Pembentukan Produk

Reaktor yang digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaksi yang terjadi dalam reaktor :



Reaksi berlangsung pada temperature 85°C pada tekanan 1 atm dengan katalis asam sulfat. Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis, sehingga untuk mempertahankan temperatur perlu pendingin sebagai penghilang panas yang dihasilkan reaksi.

- 3) Tahap pemurnian produk

Untuk mendapatkan kemurnian sesuai dengan yang diharapkan cairan dimurnikan dengan menggunakan distilasi. Produk keluaran reaktor diumpankan menuju kolom distilasi. Campuran gas yang mengandung etil akrilat, etanol, dan air yang bebas asam akrilat dan asam sulfat akan menuju

kondensor dan masuk kedalam separator untuk memisahkan antara fasa gas dan fasa cair. Sebagian keluaran dari separator dikembalikan ke kolom distilasi dan sebagian lagi menuju kolom distilasi kedua.

Produk yang mengandung etil akrilat, air, dan etanol, diumpankan menuju kolom distilasi kedua. Pemisahan pada distilasi kedua yaitu memisahkan air dengan komponen lainnya berdasarkan titik didih. Produk keluaran dari *bottom* kolom distilasi kedua yang mengandung air akan dikirim ke *waste water treatment* untuk kemudian di olah sebelum dibuang ke lingkungan, dan untuk produk etil akrilat, etanol dan air sisanya akan menuju distilasi ketiga.

Pada distilasi ketiga dilakukan pemisahan produk hingga mendapatkan kemurnian etil akrilat 99%. Kemudian setelahnya etil akrilat akan menuju tangka penyimpanan lalu di distribusikan.

III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1. Bahan Baku

1. Asam Akrilat

Nama Produk	: Asam Akrilat
Rumus Molekul	: $C_3H_4O_2$
Berat molekul	: 72 g/mol
Wujud	: Cairan tidak berwarna
Titik Lebur	: 13,5°C (54,34°F)
Titik Didih	: 141°C (285,8°F)
Densitas	: 1,040 g/mL (30°C)

Sumber: Perry's, 2008

2. Etanol

Nama Produk	: Etanol
Rumus Molekul	: C_2H_5OH
Berat molekul	: 46 g/mol
Wujud	: Cairan tidak berwarna
Titik Lebur	: -114,14 °C (-173,452°F)
Titik Didih	: 78,29 °C (172,904°F)
Densitas	: 0,789 g/mL (20°C)
Komposisi	: 96% C_2H_5OH (4% H_2O)

Sumber: Perry's, 2008

3.2. Bahan Pembantu

1. Asam Sulfat

Nama Produk	: Asam Sulfat
Rumus Molekul	: H_2SO_4
Berat molekul	: 98 g/mol
Wujud	: Cair (30°C, 1 atm)
Titik Lebur	: 10,49°C (50,882°F)
Titik Didih	: 340°C (644°F)
Densitas	: 1,834 g/mL (20°C)
Komposisi	: 98% H_2SO_4 (2% H_2O)

Sumber: Perry's, 2008

3.3. Produk

1. Etil Akrilat

Nama Produk	: Etil Akrilat
Rumus Molekul	: $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$
Berat molekul	: 100 g/mol
Wujud	: Cairan tidak berwarna
Titik Lebur	: -71,2°C (-96,16°F)
Titik Didih	: 99,4°C (210,9°F)
Densitas	: 0,9234 g/mL (20°C)
Komposisi	: 99,5% $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$ (0,5 H_2O)

Sumber: Mackay et.al., 2006

2. Air

Nama Produk	: Air
Rumus Molekul	: H ₂ O
Berat molekul	: 18 g/mol
Wujud	: Cairan tidak berwarna
Titik Didih	: 100°C (212°F)
Densitas	: 1,0511 g/mL (25°C)

Sumber: Perry's, 2008

X. SIMPULAN DAN SARAN

10.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap prarancangan pabrik etil akrilat dari asam akrilat dan etanol kapasitas 35.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. Pabrik etil akrilat berisiko rendah karena pabrik bukan usaha baru yang belum pernah dicoba sama sekali dengan kondisi pasar yang tidak pasti. Nilai *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak adalah 43,50% dan nilai *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak adalah 2,31 tahun masuk dalam batasan pabrik berisiko rendah, maka pabrik layak untuk didirikan.
2. *Break Even Point* (BEP) sebesar 42,18% dari kapasitas produksi total dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 16,92% dari kapasitas total.
3. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 35,71%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

10.2 Saran

Prarancangan pabrik etil akrilat dari natrium klorat, asam sulfat dan hidrogen peroksida kapasitas 35.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba, Harga Produk dan Bahan baku, <https://www.alibaba.com> diakses pada 5 Februari 2022.
- Anonim. 2020. Kementrian Kementerian Perindustrian. Diakses pada 2022.
- Anonim. 2020. Diakses melalui <https://indexmundi.com> pada 2023.
- Badan Pusat Statistik. 2019. *Statistic Indonesia*. Diakses melalui www.bps.go.id pada 2022.
- Banchero, Julius T., and Walter L. Badger. 1988. *Introduction to Chemical Engineering*. McGraw Hill : New York.
- Aries, R.S., and Newton, R.D., 1954, "Chemical Engineering Cost Estimation, New York, Mc Graw Hill Book Company.
- Don W. Green, Robet H. Perry. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition*. New York, America. McGraw-Hill.
- Brownell, L. E. and Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design 3rd Edition*. John Wiley & Sons, New York.
- Cheremisinoff, Nicholas P. 2003. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. Butterworth-Heinemann.
- Coulson, J. M., and J. F. Richardson. 1983. *Chemical Engineering 4th edition*. Butterworth-Heinemann : Washington.
- Couper, R. J., dkk. 2010. *Chemical Process Equipment: Selection and Design 3rd edition*. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, Linacre House, Kidlington, Oxford, UK.

- Eonchemicals. Chemical untuk Cooling Tower dan Cara Menghitung Dosisnya.
<https://www.eonchemicals.com/artikel/chemical-untuk-cooling-tower/>.
Diakses pada 2023.
- Fogler, H. Scott. 1999. *Elements of Chemical Reaction Engineering 4th edition*.
Prentice Hall International Inc. : United States of America.
- Foust, S. 1956. *Principles Of Unit Operations 1nd Ed.* John Wiley And Sons, New
York.
- Geankoplis, Christie. J. 1983. *Transport Processes and unit Operation 3rd edition*.
Allyn & Bacon Inc, New Jersey.
- Gebbie, Peter 2006, “An Operator's Guide to Water Treatment Coagulants”, 31st
Annual Qld Water Industry Workshop - Operations Skills, University
Central Queensland – Rockhampton.
- Heshberger, dkk. (2005). Method For Producing Ethyl Acrylate. United States
Patent Application Publication. US 2005/0107629 A1.
- Hill, Charles G. 1977. An Introduction to Chemical Engineering Kinetics and
Reactor Design. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Himmelblau, David. 1996. *Basic Principles and Calculation in Chemical
Engineering*. Prentice Hall Inc, New Jersey.
- Kelley, K. K. 1960. High-Temperature Heat-Content, Heat-Capacity, and Entropy
Data for the Elements and Inorganic Compounds. Washington, America.
U.S. Govt.
- Kern, Donald Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Mcgraw-Hill Co.: New York.
- Levenspiel, O. 1972. *Chemical Reaction Engineering 2nd edition*. John Wiley and
Sons Inc, New York.
- Matches. 2020. *Matches' Process Equipment Cost Estimates*. Diakses melalui
www.matche.com pada 2023.
- McCabe, W. L. and Smith, J. C. 1985. *Operasi Teknik Kimia*. Erlangga, Jakarta.

- Peters and Timmerhaus. 2008. *Plant Design and Economics for Chemical Engineering 8th Edition*, McGraw Hill Book Co. Inc. New York.
- Smith, J. M., H.C. Van Ness, and M. M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6th edition*. McGraw Hill : New York.
- Twort, Alan C., Ratnayaka, Don D., and Brandt, Malcolm J., 2006. *Water Supply 5th Edition* . Butterworth-Heinemann, UK
- Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Butterworth-Heinemann: Washington.
- Witczak, Mariusz dkk. 2004. The Kinetics Of Esterification Of Acrylic Acid With Methyl and Ethyl Alcohols. *Inzynieria Chemiczna I Procesowa* : 25.331-340 (2004).
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Book Co., NewYork